



AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

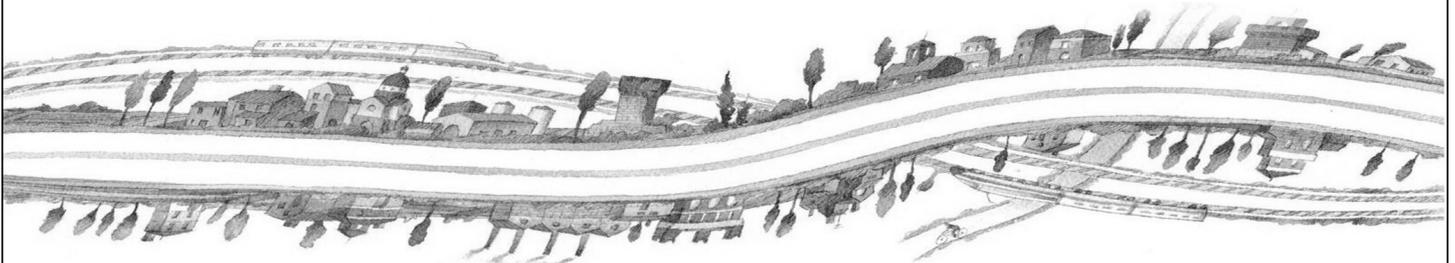
CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

**VIABILITA' DI ADDUZIONE AL SISTEMA AUTOSTRADALE - D02 (EX 1RE) VARIANTE
ALLA SP41 IN CORRISP. DEL TRACCIATO CISPADANO-TRATTO TRA SP60 E BRESCELLO**
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA

SISMICA

RELAZIONE SISMICA



IL PROGETTISTA

Ing. Gianfranco Marchi
Albo Ing. Ravenna n°342

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale
Cispadana S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziano Pattuzzi

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				A. Boschi	G. Marchi	E. Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: MAGGIO 2012
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: _
4861	PD	0	D02	D0000	0	GT	RH	02	A	

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO.....	4
2.1. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	4
2.2. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO	4
3. CARATTERI SISMOTETTONICI DEL TERRITORIO.....	5
4. CLASSIFICAZIONE SISMICA	9
5. SISMICITÀ E MAGNITUDO STORICA.....	11
5.1. MAGNITUDO STORICA.....	14
6. STRUTTURE SISMOGENETICHE	15
7. MAGNITUDO DI RIFERIMENTO	18
8. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE AI FINI DEL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA.....	20
8.1. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	20
8.2. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	21
9. PARAMETRI CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	22
9.1. VITA NOMINALE	22
9.2. CLASSE D'USO	22
9.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	23
10. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA LIQUEFAZIONE	24
11. SEQUENZA SISMICA MAGGIO 2012.....	25

1. PREMESSA

Nell'ambito delle attività di progettazione previste per la redazione del Progetto Definitivo di Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A13, il presente documento concerne lo studio degli aspetti sismici in riferimento alla viabilità di adduzione D02 (ex 1RE) Variante alla SP n° 41 in corrispondenza del tracciato Cispadano - tratto tra SP n° 60 e Brescello.

Il progetto è sviluppato in riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

Nel seguito dell'elaborato verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche:

- normativa di riferimento;
- definizione dei caratteri sismo tettonici del territorio;
- classificazione sismica del territorio ai sensi dell'OPCM 3274/2003 e s.m.i.;
- definizione della sismicità e della magnitudo storica;
- definizione delle principali strutture sismogenetiche;
- definizione della magnitudo di riferimento;
- definizione dei parametri necessari alla definizione dell'azione sismica di riferimento;
- considerazioni preliminari in merito alla liquefazione.

2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Le normative di riferimento sono riportate nell'elaborato:

- PD_0_000_00000_0_GE_KT_01, "Elenco delle Normative di riferimento".

2.1. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- CNR - Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei suoli – Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna (scala 1:250.000), S.E.L.C.A. Firenze, 2004.

2.2. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO

Sulla base di quanto reperito in bibliografia e di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, a corredo della presente relazione sismica è stata elaborata la cartografia tematica di seguito elencata:

- Planimetria con classificazione sismica del territorio, scala 1:10.000 - cod. PD_0_D02_D0000_0_GT_CT_01.

3. CARATTERI SISMOTETTONICI DEL TERRITORIO

Il tracciato della viabilità di adduzione D02 (ex 1RE) Variante alla SP n° 41 in corrispondenza del tracciato Cispadano - tratto tra SP n° 60 e Brescello, si colloca nella porzione centro orientale della Pianura Padana a sud del fiume Po. La Pianura Padana è un ampio bacino d'avanzata subsidente compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord che, a partire dal Terziario, ha raccolto i sedimenti provenienti dallo smantellamento delle catene alpina e appenninica in formazione.

L'assetto strutturale di tale bacino, noto attraverso lo studio dei dati derivanti dalle indagini profonde per ricerche idriche e di idrocarburi (sondaggi, indagini geofisiche), spinti sino ad alcuni chilometri di profondità, appare assai complesso e strettamente legato alle dinamiche evolutive della catena subalpina e di quella appenninica.

In particolare la fascia posta tra la pianura e le prime colline dell'Appennino è stata ed è sede di intensi e complessi movimenti tettonici per la sua particolare posizione quasi "a cerniera" tra la catena appenninica in sollevamento e la pianura soggetta a subsidenza.

Lo stile tettonico compressivo ed il conseguente accorciamento crostale per convergenza e collisione tra la placca Europea e quella Africana è accompagnato, in quest'area, da un pattern deformativo e da un'attività sismica molto complessi.

L'esplorazione geofisica effettuata per la ricerca di idrocarburi mostra che dal punto di vista strutturale la Pianura Padana a sud del Po è caratterizzata dalla presenza di faglie inverse e sovrascorrimenti sepolti nord-vergenti, associati ad anticlinali e costituenti i fronti più esterni della catena appenninica (Pieri e Groppi, 1975). A tal riguardo si possono distinguere due archi di pieghe principali, che da ovest verso est sono l'Arco delle Pieghe Emiliane e l'Arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole (Figura 3-1), ed un motivo strutturale sepolto di pieghe pedappenniniche che marca il margine pedemontano della Regione, delimitando la zona collinare in sollevamento dall'antistante pianura subsidente (Figura 3-2). Il fascio delle pieghe pedappenniniche, è spesso interrotto da numerose faglie con carattere di trascorrenza e con direzione NE-SO, riscontrabili anche nella morfologia di superficie.

Per la valutazione della pericolosità sismica di un'area è importante individuare tra le faglie attive quelle la cui storia recente è direttamente legata ai terremoti di elevata magnitudo: faglie primarie o principali. Queste strutture sismogenetiche hanno lasciato le tracce più tangibili della loro attività nella storia geologica tardo-quadernaria, rappresentate dal macroscopico condizionamento del contesto geologico su cui insistono. Il concetto di faglia attiva è attualmente oggetto di numerose definizioni e si presta ad interpretazioni ambigue imponendo la necessità di definire con chiarezza i criteri discriminanti delle faglie attive rispetto all'insieme delle strutture tettoniche riconoscibili. Una definizione utile di attività con riferimento agli scopi

eminentemente pratici del progetto è la seguente: "faglia che può muoversi con potenziali effetti dannosi in un intervallo di tempo di interesse sociale" (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti- PE98).

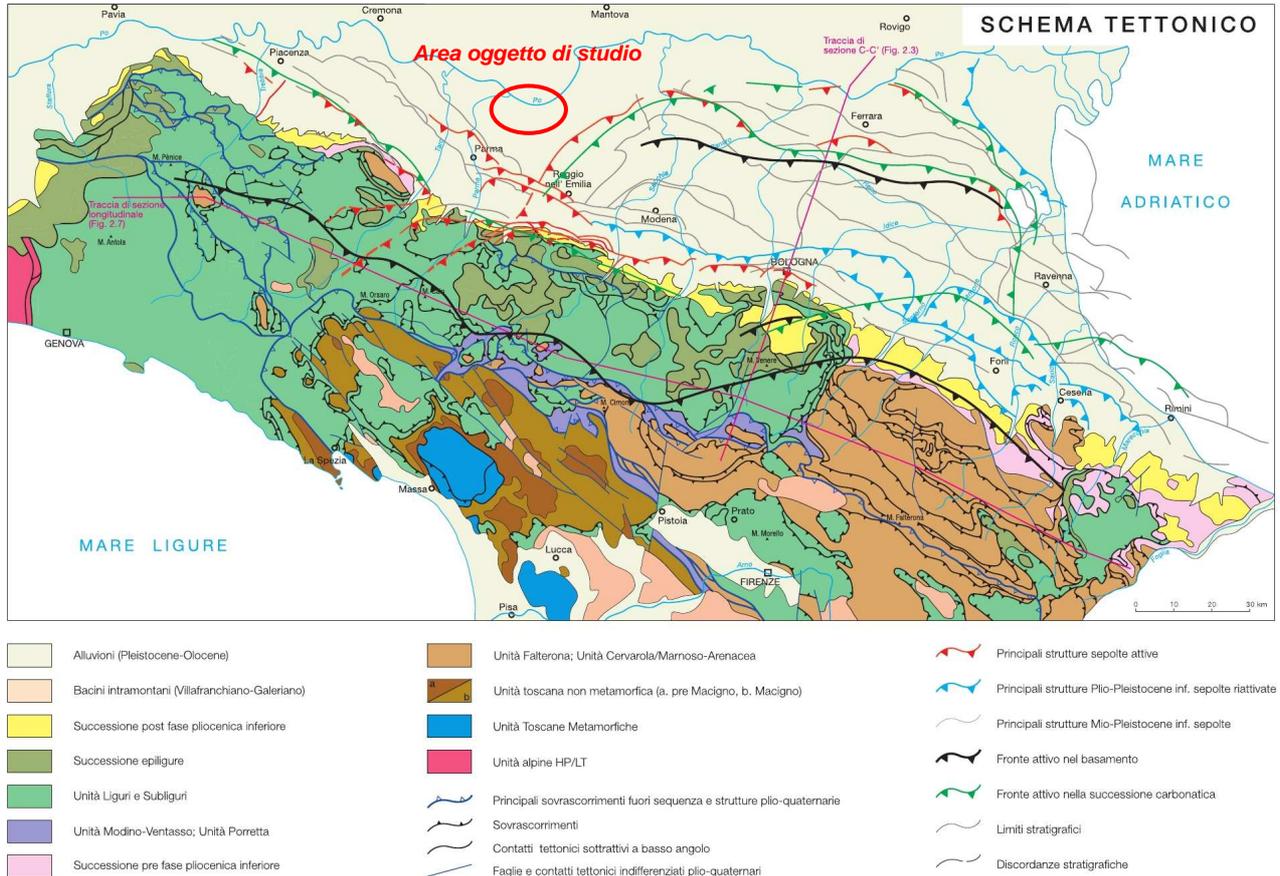


FIGURA 3-1: AREA DI STUDIO CON LE PRINCIPALI STRUTTURE SEPOLTE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE (DA PIERI & GROPPI, 1981, MODIFICATA)

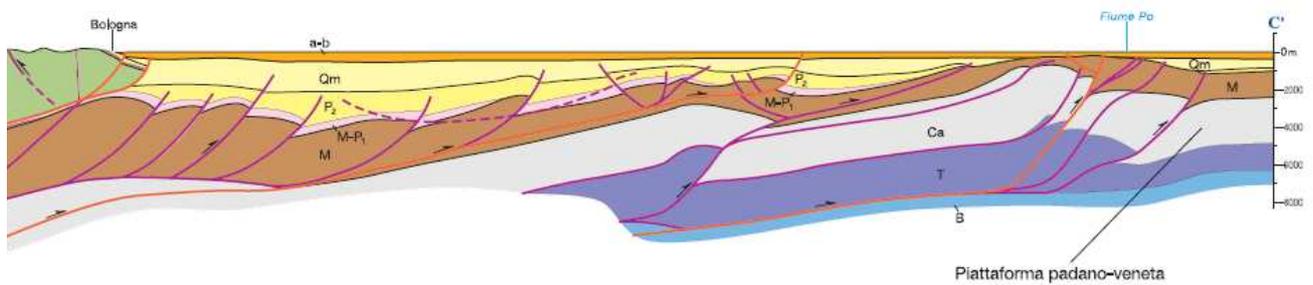


FIGURA 3-2: SEZIONE GEOLOGICA PASSANTE PER IL TRATTO PIÙ ORIENTALE DELLA PORZIONE DI PIANURA IN ESAME (STRALCIO DA AA. VV., 2004, "CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA")

Ai fini della individuazione di faglie attive primarie, un'importante condizione è che i terremoti rilevanti abbiano origine crostale e siano prodotti dallo scorrimento lungo piano di faglia ben definiti/definibili con

metodi geologici di superficie e/o geofisici. In particolare, la fagliazione superficiale rappresenta l'evidenza più diretta della tettonica fragile in atto e, in particolar modo, di strutture sismogenetiche significative ai fini della valutazione della pericolosità legata ai terremoti in Italia. Infatti, i dati mondiali (Wells and Coppersmith, 1994) e la sismicità recente in Italia mostra che i terremoti crostali sono associati a deformazioni cosismiche superficiali, in particolare fagliazione superficiale, a partire da magnitudo prossime a 6; le dislocazioni divengono rilevanti, da alcuni decimetri fino a metri di rigetto e lunghezze di decine di chilometri, per magnitudo superiori a 6,5 circa.

L'analisi sismotettonica del territorio emiliano-romagnolo evidenzia come parte delle strutture individuate da profili sismici che interessano il riempimento sedimentario Plio-Pleistocenico siano caratterizzate da attività molto recente ad attuale. In particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza-Parma, Reggio Emilia e di Ferrara. A tali strutture (in particolare alla dorsale Ferrarese) possono essere associati i fenomeni di fagliazione superficiale osservati in alcune aree di Pianura Padana, nelle province di Reggio Emilia e Modena (Pellegrini & Mezzani, 1978). Lungo il margine, risulta attivo il thrust pede-appenninico tra Bologna e Parma, mentre blind thrusts attivi caratterizzano il settore a Sud Est di Bologna. L'attività del thrust pede-appenninico è in accordo con quanto osservato da Amorosi et alii (1996) sulla base dell'analisi delle correlazioni tra terrazzi fluviali del margine e conoidi alluvionali nella pianura nelle vicinanze della città di Bologna. Attivi risultano anche sovrascorrimenti nell'area di catena, come il sistema che si sviluppa tra Castiglione di Pepoli e M. Orsaro (crinale tosco-emiliano) e le strutture nell'area di S. Sofia (Appennino romagnolo).

La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, risulta molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese, con meccanismi focali compressivi e trascorrenti e direzioni di compressione sia NE-SW che NW-SE. I meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari. Risulta quindi che la cinematica delle principali strutture attive superficiali è di tipo transpressivo.

La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi tra 15 e 35 km, mostra una distribuzione simile a quella più superficiale ma con una densità inferiore. Anche in questo caso i meccanismi focali risultano compressivi e trascorrenti con direzioni di compressione sia NW-SE che NE-SW ed i meccanismi distensivi sono rari e ben localizzati.

La sismicità più profonda, con ipocentri oltre i 35 km, fino ad oltre 50 km, è sempre diffusa nel settore di catena e in corrispondenza del margine appenninico-padano, e decisamente minore in pianura. I terremoti profondi risultano quasi tutti di bassa magnitudo, probabilmente per la maggiore presenza di fluidi nel mantello, per cui pochi sono i meccanismi focali calcolati. Ciò nonostante questi sono in accordo con quanto riscontrato nei livelli strutturali superiori.

Risulta così un modello geodinamico attivo in cui le strutture superficiali della copertura, quelle crostali nonché quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte coerenti e inquadrabili in un sistema

transpressivo che rispetto alle zone esterne dell'avampaese padano, relativamente stabili, assume il significato di un sistema di ordine inferiore all'interno di una zona di trascorrenza destra.

Nel definire le strutture sismogenetiche non si può prescindere dal considerare che esistono strutture attive, e potenzialmente sismogenetiche, almeno a 3 livelli (copertura, crosta e mantello) anche se tra loro coerenti. In Figura 3-3 viene riportata la distribuzione delle strutture attive rispettivamente della copertura, della crosta e del mantello con una zonazione delle aree che maggiormente risentono della loro attività. Per questa zonazione si è tenuto conto anche degli effetti superficiali quali le aree di maggiore sollevamento in catena e di minore abbassamento in pianura, come pure della distribuzione delle aree a maggiore frequenza di fenomeni franosi. Le zone di maggiore risentimento corrispondono anche alle aree dove sono più frequenti le manifestazioni superficiali di idrocarburi e le sorgenti termo-minerali.

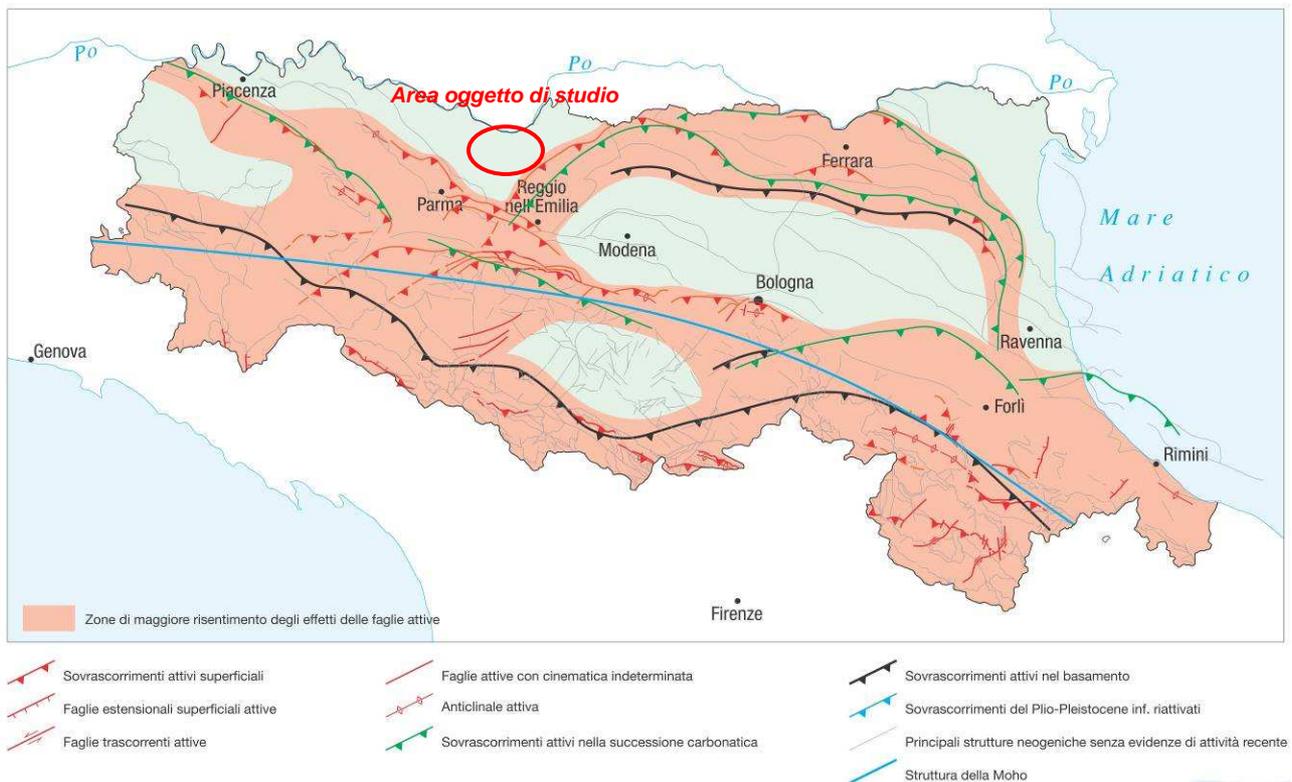


FIGURA 3-3: ZONE DI MAGGIOR RISENTIMENTO DELLE FAGLIE ATTIVE

4. CLASSIFICAZIONE SISMICA

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio interessato dall'infrastruttura in progetto, come indicato nella Delibera di Giunta Regionale n.1677/2005, a decorrere dal 23/10/2005 trova attuazione la classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia Romagna, stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale ha introdotto una nuova classificazione sismica, suddividendo il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona 1, a media sismicità la zona 2 e a bassa sismicità la zona 3, mentre nella zona 4 viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa.

Come stabilito dall'allegato B della D.G.R. n.1677/2005, i Comuni attraversati dall'infrastruttura in progetto sono classificati così come riportato nelle sottostanti Figura 4-1 e Tabella 4-1.

Nella Planimetria con classificazione sismica del territorio allegata al presente progetto ai Comuni interessati dal tracciato della viabilità di adduzione D02 (ex 1RE) Variante alla SP n° 41 in corrispondenza del tracciato Cispadano - tratto tra SP n°60 e Brescello, sono state associate campiture colorate in funzione della vigente zonazione sismica del territorio regionale.

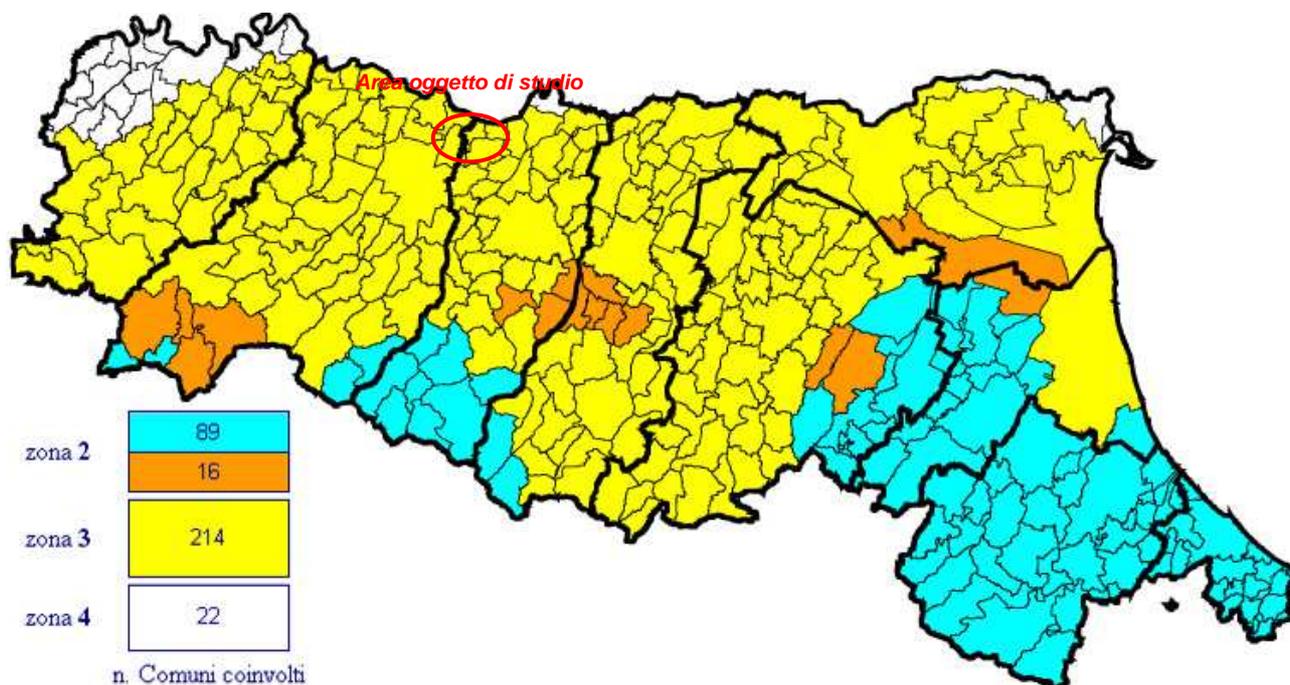


FIGURA 4-1: CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELL'EMILIA-ROMAGNA

TABELLA 4-1: CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI INTERESSATI DAL TRACCIATO DELLA VIABILITÀ D02 (EX 1RE)

<i>Provincia</i>	<i>Comune</i>	<i>Zona sismica (OPCM 3274)</i>
RE	Brescello	3
PR	Sorbolo	3

5. SISMICITÀ E MAGNITUDO STORICA

In generale per il territorio interessato dall'opera in progetto sono storicamente documentate numerose scosse sismiche, molte delle quali sono attribuibili a eventi sismici con aree epicentrali esterne al territorio di interesse. Non mancano tuttavia forti sismi riconducibili invece ad eventi locali e connessi da un punto di vista strutturale a movimenti delle pieghe dell'Appennino sepolto.

L'analisi storica degli eventi sismici non deriva da misure strumentali, bensì fa riferimento, per la maggior parte, a testimonianze e documenti scritti relativi ai danni registrati nei vari luoghi in cui il sisma ha fatto sentire maggiormente i suoi effetti. Per tali motivi è in genere possibile segnalare come epicentro del sisma solo il centro abitato da cui provengono le notizie dei maggiori danni, così come spesso, data la varietà dei sistemi di riferimento orari esistenti prima della nascita dello Stato Nazionale, è assai difficoltoso ricostruire il momento reale dell'evento. Allo stesso modo, mancando nella maggior parte dei casi dati strumentali relativi alla magnitudo, per la valutazione dell'intensità dei terremoti storici si usa far riferimento alla scala Mercalli-Cancani-Sieberg, mentre risulta pressoché impossibile riferirsi alla scala Richter.

Al fine di meglio inquadrare dal punto di vista della sismicità il territorio attraversato, in Tabella 5-1 e Tabella 5-2 (e in Figura 5-1 e Figura 5-2) si riporta un breve riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente i comuni attraversati dall'infrastruttura stradale in progetto.

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI04, il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI04, realizzato con il contributo parziale del progetto INGV-DPC S1.

Pertanto, nelle successive tabelle si intende:

Is	Intensità al sito (scala MCS)
Anno	Tempo origine: anno
Me	Tempo origine: mese
Gi	Tempo origine: giorno
Or	Tempo origine: ora
Mi	Tempo origine: minuti
Se	Tempo origine: secondi
Io	Intensità epicentrale nella scala MCS
Mw	Magnitudo momento

TABELLA 5-1: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI BRESCELLO [44.900, 10.515]

N. di eventi disponibili per il Comune di Brescello: 16				
Effetti Is	In occasione del terremoto di:			
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
NC	1547 02 10 13 20	Reggio Emilia	7	5.21
6	1572 06 04 22	PARMA	7	5.13
NR	1628 11 04 15 15	PARMA	7	5.17
NR	1671 06 20	RUBIERA	7	5.34
3-4	1672 04 14 15 45	Riminese	8	5.60
7	1806 02 12	NOVELLARA	7	5.26
7	1832 03 13 03 30	Reggiano	7-8	5.59
5	1887 02 23 05 21 50	Liguria occidentale	9	6.29
NF	1907 04 25 04 52	BOVOLONE	6	4.94
NF	1957 08 27 11 54	ZOCCA	6	5.06
NF	1965 11 09 15 35	ALTA V. SECCHIA	5	5.01
6-7	1971 07 15 01 33 23	Parmense	7-8	5.61
4-5	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
NF	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
5-6	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	6	5.05
5-6	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44

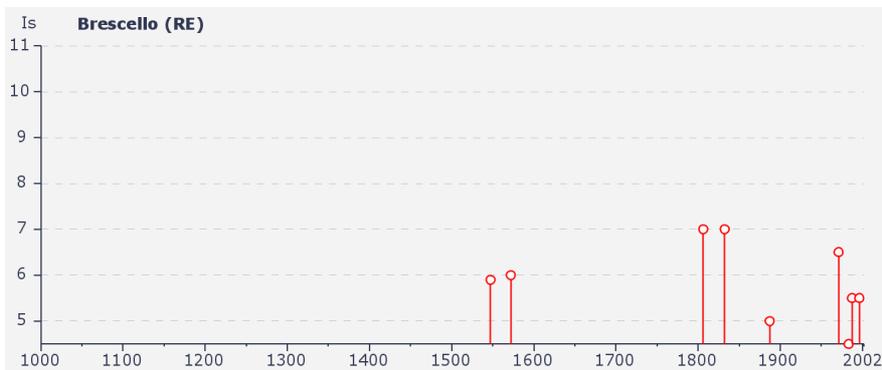


FIGURA 5-1: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI BRESCELLO [44.900, 10.515]

TABELLA 5-2: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI SORBOLO [44.846, 10.449]

N. di eventi disponibili per il Comune di Sorbolo: 9				
Effetti Is	In occasione del terremoto di:			
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
7-8	1831 09 11 18 15	Reggiano	7-8	5.48
6-7	1832 03 13 03 30	Reggiano	7-8	5.59
4-5	1886 10 15 02 20	COLLECCHIO	6	4.83
5	1951 05 15 22 54	LODIGIANO	6-7	5.24
7-8	1971 07 15 01 33 23	Parmense	7-8	5.61
6	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
NF	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
3	1995 10 10 06 54 22	LUNIGIANA	7	5.04
5	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44



FIGURA 5-2: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI SORBOLO [44.846, 10.449]

5.1. MAGNITUDO STORICA

“La regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell’Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d’Arda e Bologna, l’arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico” (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

6. STRUTTURE SIMOGENETICHE

Recentemente è stata presentata la nuova versione (vers. 3.1) del “*Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy*”, inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio 2000 come versione 1.0 e quindi pubblicato nel 2001 come versione 2.0 (Valensise e Pantosti, 2001).

Il Database contiene sorgenti sismogenetiche individuali ritenute in grado di generare grandi terremoti. L'individuazione e la caratterizzazione di tali sorgenti consentirà una sempre migliore definizione della pericolosità sismica, sia alla scala di singole opere o infrastrutture che a scala regionale.

La nuova versione del Database contiene oltre 100 sorgenti sismogenetiche identificate attraverso studi geologico-geofisici (70% in più rispetto alla precedente versione). Tali sorgenti ricadono sull'intero territorio italiano e su alcune regioni confinanti.

L'assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull'andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo in alcuni casi di individuare aree di potenziale gap sismico.

Al fine di rendere quanto più possibile completa l'informazione sulle sorgenti sismogenetiche potenziali del territorio nazionale. Per questa ragione, oltre ad un numero maggiore di sorgenti individuali, viene proposta una forma di rappresentazione e caratterizzazione di tutte le aree che, pur essendo certamente in grado di generare forti terremoti, sono ancora poco comprese. È stata pertanto istituita una nuova categoria di aree sismogenetiche per le quali, in analogia con quanto proposto dalla nuova zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2004), viene fornita la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa.

Dall'esame del Database si osserva la presenza di due sorgenti sismogenetiche composite: la sorgente Busseto-Cavriago (cod. ITCS009) e la sorgente Reggio Emilia-Rolo (cod. ITCS049). Nel seguito si fornisce una breve descrizione delle sorgenti sismogenetiche descritte.

- *Sorgente sismogenetica Reggio Emilia-Rolo (cod. ITCS049)*

Questa sorgente composta è stata riconosciuta nell'area a nord-est della città di Reggio Emilia e costituisce il fronte esterno del thrust dell'arco ferrarese. Questo sistema di faglie, da NW a N vergente (verso l'esterno dell'arco), rappresenta il thrust più avanzato in direzione nord-est della catena appenninica, ben all'interno della piana del Po, con potenziali sorgenti sismogenetiche dannose.

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al, 2000;. Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al, 2006;. Guidoboni et al, 2007) mostrano una serie di terremoti da intermedi a dannosi che hanno interessato l'area; a sud-ovest i terremoti dell'11 settembre 1831 (Mw 5.5, Reggiano) e del 10 febbraio 1547 (Mw 5.2, Reggio Emilia), a sud il terremoto del 20 giugno 1671 (Mw 5.3, Rubiera), ed a nord i terremoti del 12 Febbraio 1806 (Mw 5.3) e del 25 dicembre 1810 (Mw 5.3, Novellara), mentre il 15 ottobre 1996 (Mw 5.4) un terremoto ha

colpito il settore sud-occidentale della sorgente sismogenetica. Infine, una sismicità intermedia ($4.5 < M_w < 5.0$) si può trovare in tutta la regione.

Questa sorgente sismogenetica è la rampa di sinistra del thrust cieco più esterno dell'Appennino Romagnolo e può spiegare la sismicità della Regione da intermedia a dannosa. In particolare, i terremoti del 1806 e del 1810 sono curiosamente molto vicini nello spazio e nel tempo, come si è raramente osservato nella storia sismica d'Italia e nei suoi modelli relativi all'interazione possibile della faglia. Questi due eventi potrebbero essere stati causati da due segmenti adiacenti (ad oggi sconosciuti) di questa sorgente.

Lo strike di questa sorgente sismogenetica si basa su quello delle strutture regionali mappate ($N35^\circ-65^\circ$). Il dip è basato su osservazioni geologiche e considerazioni geometriche ($30^\circ-50^\circ$). Il rake rappresenta scorrimento obliquo, sulla base di osservazioni geologiche ($60-90$). La profondità minima e massima è basata su considerazioni geometriche e tettoniche riguardanti la geometria del thrust (3,0 e 10,0 km, rispettivamente). La velocità di scorrimento è stata dedotta dalle osservazioni geologiche in strutture adiacenti che condividono lo stesso ambiente tettonico con la sorgente Reggio Emilia-Rolo (0,1-0,5 mm/anno). La magnitudo massima è stata basata sui dati regionali di sismicità ($M_w 5.5$).

- *Sorgente sismogenetica Busseto-Cavriago (cod. ITCS009)*

Questa sorgente composita è stata riconosciuta nell'area della città di Reggio Emilia (a sud-est) in direzione Parma, e costituisce il fronte esterno del thrust dell'Appennino Settentrionale. Questo fronte è un sistema di faglie NE-vergente, all'estremo nord occidentale della catena appenninica settentrionale tra le colline emiliane e la Pianura Padana. Il fronte esterno del thrust di questa sorgente segna la terminazione settentrionale della sismogenesi dannosa in Appennino.

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al, 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al, 2006;.. Guidoboni et al, 2007) mostrano una serie di terremoti dannosi in tutta l'area; da nord-ovest a sud-est: i terremoti del novembre 1738 ($M_w 5.4$, Parma), dell'11 giugno 1438 ($M_w 5.6$, Parmense), del 15 luglio 1971 ($M_w 5.6$, Parmense), del 13 marzo 1832 ($M_w 5.6$, Reggiano), e dell'11 Settembre 1831 ($M_w 5,5$ Reggiano). Infine, una sismicità intermedia ($4.5 < M_w < 5.0$) si può trovare in tutta la regione, compresa una sequenza che si è verificato tra la fine del 1991 e l'inizio del 1992.

Questa fonte rappresenta l'arco attivo dove il thrust delle Alpi Meridionali e gli Appennini si avvicinano e può spiegare la sismicità da intermedia a dannosa della regione. In particolare, i terremoti del 1831 e del 1832 sono curiosamente molto vicini nello spazio e nel tempo, come si è raramente osservato nella storia sismica d'Italia e nei suoi modelli relativi all'interazione possibile della faglia. Questi due eventi potrebbero essere stati causati da due segmenti adiacenti (ad oggi sconosciuti) di questa sorgente composita, anche se questa potrebbe essere influenzata dal congiunzione con il thrust esterno romagnolo a sud-est.

Lo strike di questa sorgente sismogenetica si basa su quello delle strutture mappate regionali ($N120^\circ-140^\circ$). Il dip è basato su osservazioni geologiche e considerazioni geometriche ($20^\circ-40^\circ$). Il rake rappresenta puro

scorrimento obliquo, sulla base di osservazioni geologiche (90-120). La profondità minima e massima è basata su considerazioni geometriche e tettoniche riguardanti la geometria del thrust (2,0 e 8,0 km, rispettivamente). La velocità di scorrimento è stata dedotta dalle osservazioni geologiche in strutture adiacenti che condividono lo stesso ambiente tettonico con la sorgente Busseto-Cavriago (0,1-0,5 mm/anno). La magnitudo massima è stata definita sulla base del più grande terremoto dannoso che si è verificato all'interno di questa area (Mw 5.6).

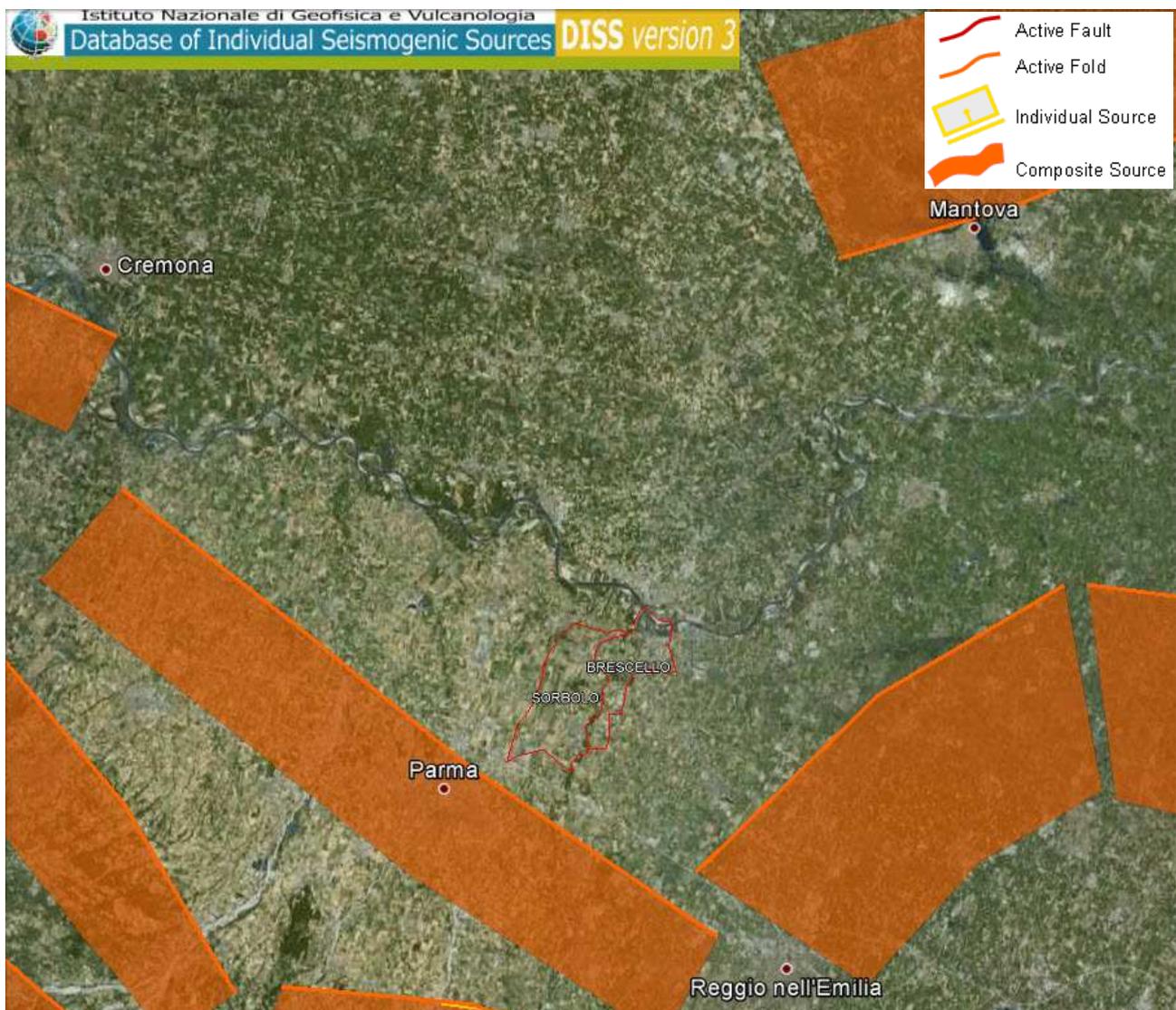


FIGURA 6-1: SORGENTI SISMOGENETICHE CONTENUTE NELLA NUOVA VERSIONE DEL "DATABASE OF POTENTIAL SOURCES FOR EARTHQUAKES LARGER THAN M 5.5 IN ITALY" PER L'AREA IN OGGETTO

7. MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

Al fine di definire la Magnitudo (M) di riferimento, ci si è riferiti alla disaggregazione sismica del terremoto di progetto.

La disaggregazione della pericolosità sismica consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini, il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento, di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio, che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Per il terremoto di progetto, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) fornisce tali valori e anche i valori medi. Da Figura 7-1 a Figura 7-2 è riportata la disaggregazione del valore di a_g con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni, in riferimento ai comuni attraversati dall'infrastruttura stradale in progetto.

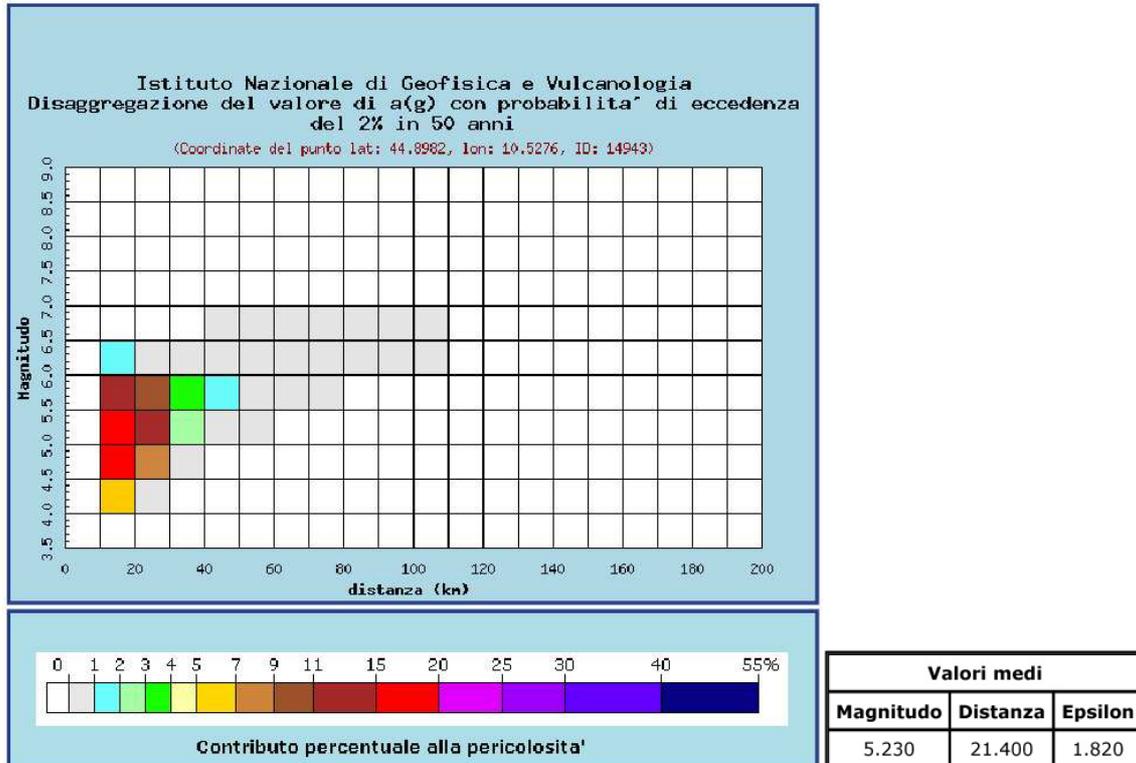


FIGURA 7-1: COMUNE DI BRESCELLO: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

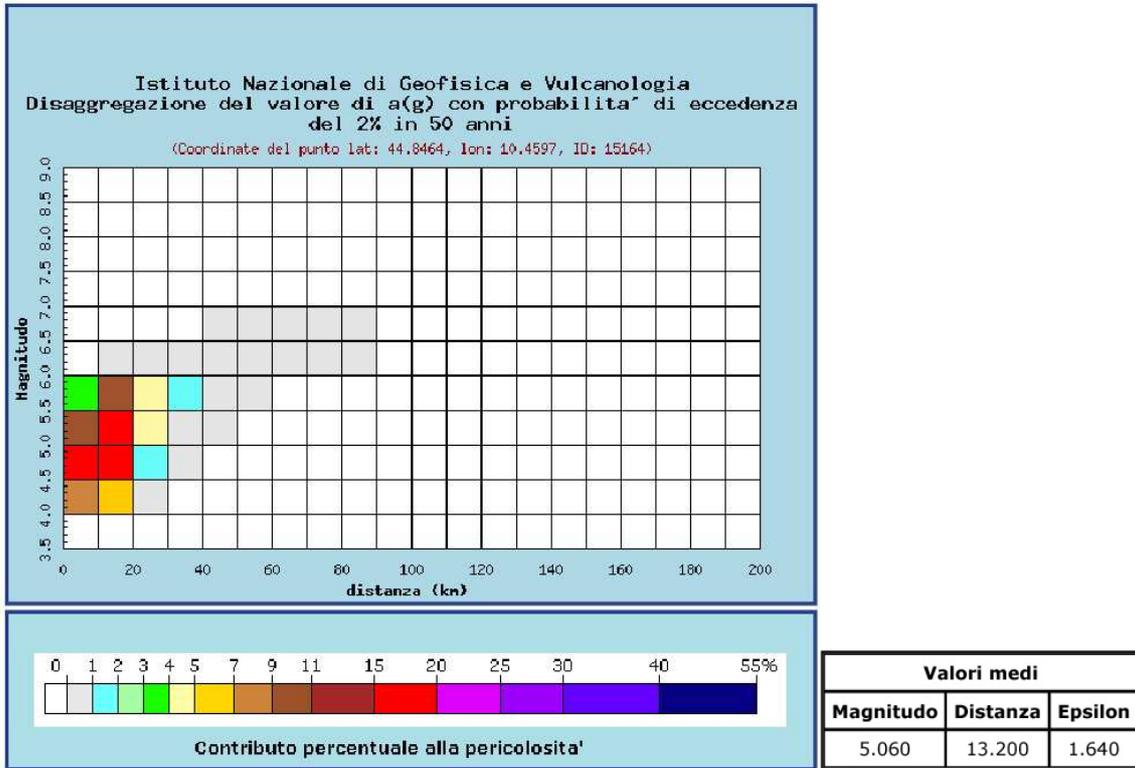


FIGURA 7-2: COMUNE DI SORBOLO: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

8. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE AI FINI DEL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA

Ai sensi del D.M. 14/01/2008, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di sottosuolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse.

8.1. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

La determinazione del tipo di suolo, secondo normativa, si è basata sui valori di velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità; tali valori sono stati determinati in relazione alle risultanze di una prova con cono sismico (1RE-SCPT5) effettuata in corrispondenza di una verticale penetrometrica.

La categoria di sottosuolo ottenuta è stata valutata anche sulla base del numero medio di colpi $N_{SPT,30}$ ottenuti da prove penetrometriche dinamiche nei terreni ovvero sulla coesione non drenata media $c_{u,30}$.

Nello specifico, le elaborazioni dei dati penetrometrici misurati in sito nell'ambito della campagna geognostica mostrano, dal punto di vista della risposta sismica locale, una sostanziale omogeneità del terreno lungo tutto il tracciato in progetto, classificando i terreni in sito come **suolo di tipo "C"**, ovvero "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

Il numero medio di colpi $N_{SPT,30}$ ed i valori di coesione non drenata media $c_{u,30}$, calcolati secondo normativa, mostrano, in generale, valori tali da classificare il suolo in categoria C. Allo stesso modo, la determinazione dei profili del terreno in termini velocità di propagazione delle onde di taglio V_s entro i primi 30 metri di profondità, effettuata in riferimento a correlazioni consolidate in letteratura geotecnica, indicano valori medi di $180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360 \text{ m/s}$.

Per la determinazione della categoria di suolo nel dettaglio delle singole opere, si rimanda alle rispettive relazioni geotecniche.

8.2. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo l'area in oggetto localizzata in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, la morfologia dell'area può essere ricondotta ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 14/01/2008 in Tabella 3.2.IV; in particolare, l'area in oggetto può essere classificata di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$.

9. PARAMETRI CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Per definire l'azione sismica di riferimento si devono operare alcune scelte in termini di "vita nominale" e "classi d'uso" dell'opera legati al livello prestazionale atteso. Nel presente capitolo si richiamano i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica di riferimento, per la quale si rimanda alle relazioni geotecniche di dettaglio delle singole opere in progetto.

9.1. VITA NOMINALE

La vita nominale (V_N) di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. La Norma definisce la vita nominale a secondo del tipo di costruzione come indicato nella seguente Tabella 9-1.

TABELLA 9-1: VITA NOMINALE V_N PER I DIVERSI TIPI DI OPERE

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V_N (in anni)
Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ^[1]	≤ 10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

9.2. CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso definite così come in Tabella 9-2.

¹ Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

TABELLA 9-2: CLASSI D'USO PER I DIVERSI TIPI DI OPERE

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

9.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U , cioè mediante la seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove il valore di C_U è definito, al variare della classe d'uso, come in Tabella 9-3.

TABELLA 9-3: VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

In ogni caso, se risultasse $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

10. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA LIQUEFAZIONE

Secondo la definizione dell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino all'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità.

La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che satura gli interstizi arriva ad eguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che l'azione sismica ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovraspinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzate le opere in progetto.

Sulla base di quanto precedentemente esposto, si rimanda alla relazione geotecnica per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione.

11. SEQUENZA SISMICA MAGGIO 2012

In data 20 maggio 2012, ore 04:03, nel distretto sismico denominato "Pianura Padana Emiliana", è avvenuto un sisma di magnitudo (MI) pari a 5.9 della scala Richter.

Tale sisma, localizzato dalla Rete Sismica Nazionale INGV, ha un epicentro posto a nord di Mirandola. La profondità ipocentrale è stimata a 6.3 Km dalla superficie.

In seguito a questo evento si è instaurata una sequenza sismica, ancora in atto al 22 maggio 2012, che comprende eventi di magnitudo anche superiore a 4.0 gradi. In Figura 11-1 è riportata l'ubicazione dell'evento principale.

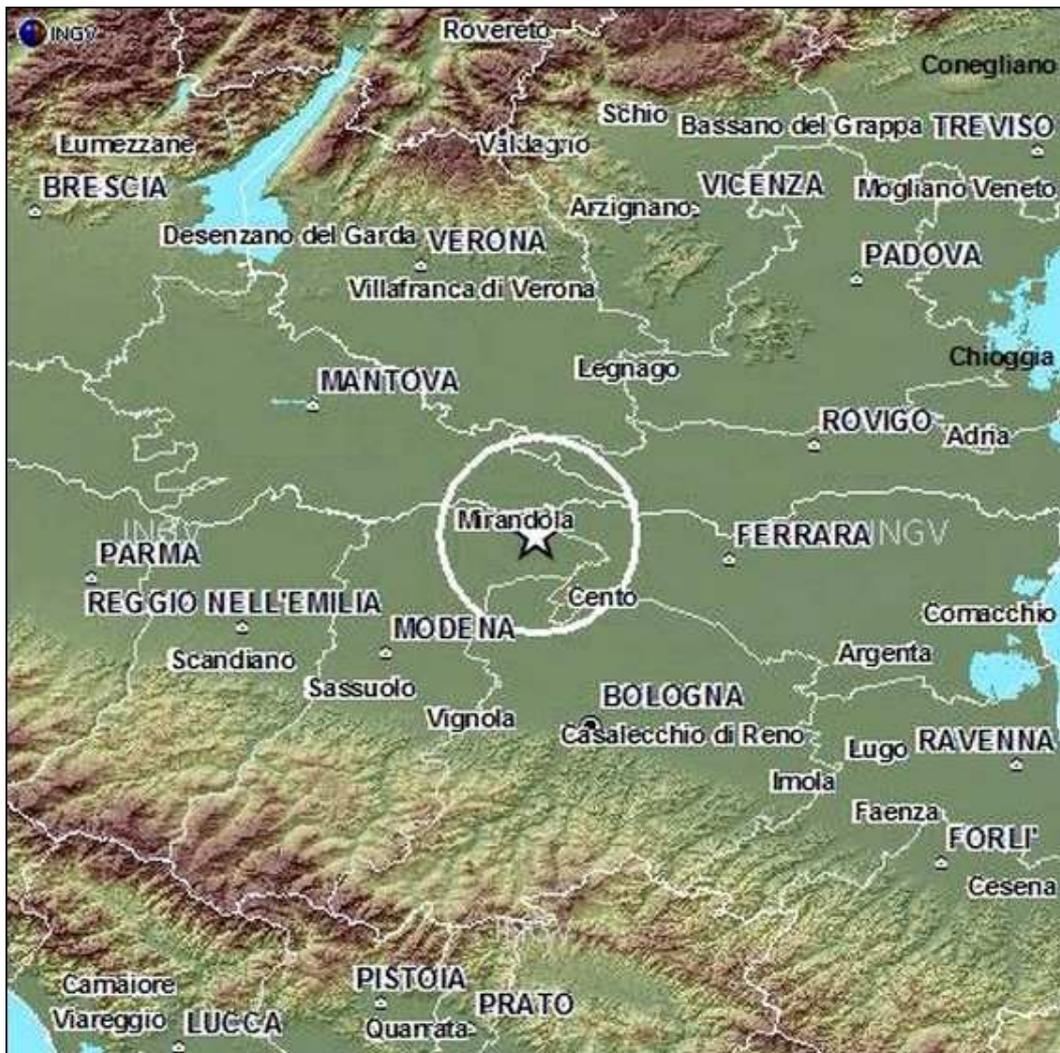


FIGURA 11-1. UBICAZIONE DELL'EVENTO PRINCIPALE.

Tale evento è attribuibile a fenomeni compressivi in atto lungo le pieghe, sepolte, ferraresi (Figura 11-2 e Figura 11-3).

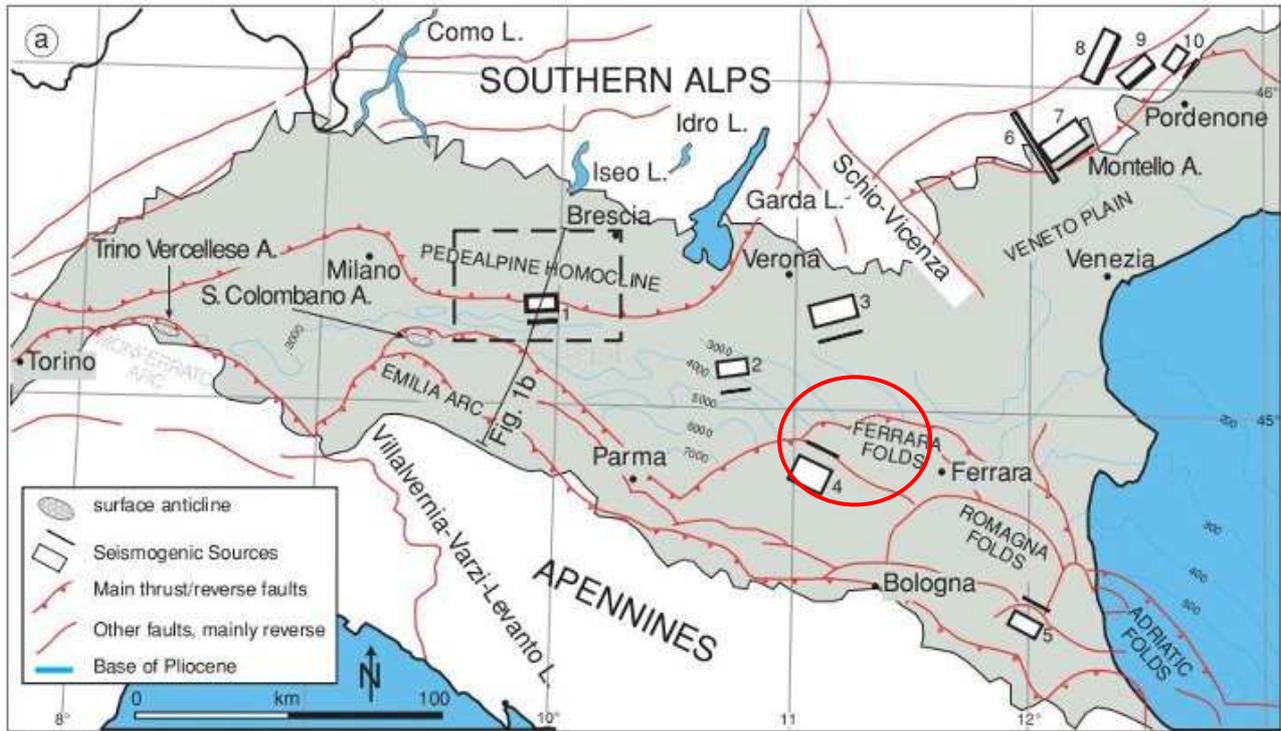


FIGURA 11-2. SCHEMA STRUTTURALE DELLA CATENA SEPOLTA (IN ROSSO L'AREA COLPITA DAL SISMA).

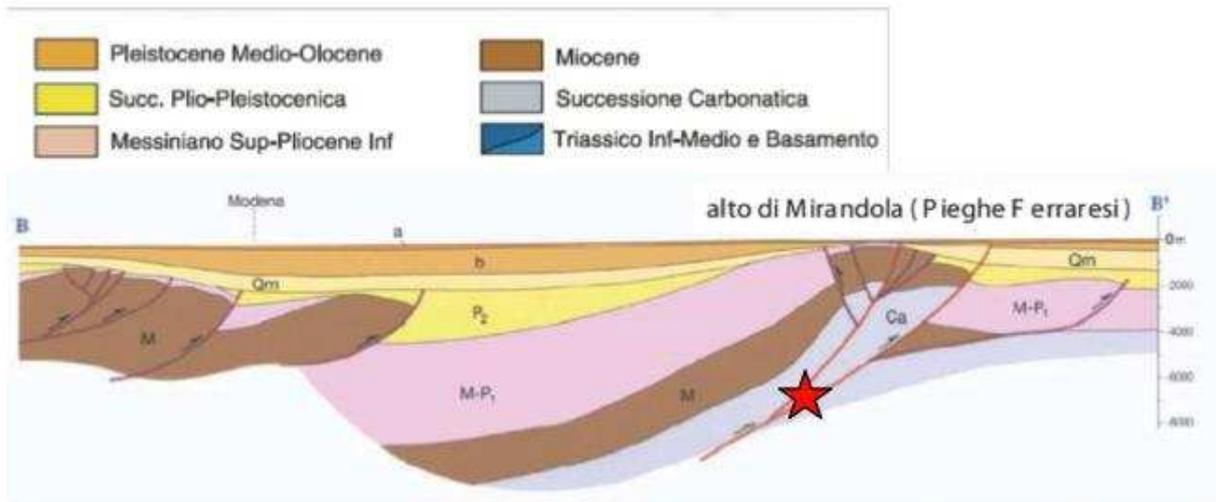


FIGURA 11-3. SEZIONE GEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO CON INDICAZIONE DEL SISMA PRINCIPALE (STELLA ROSSA).